

Les phéromones jouent un rôle très important dans l'écologie chimique de nombreux insectes.

La connaissance de ces substances peut permettre de mettre au point des techniques de surveillance des populations et, dans certains cas, des méthodes de lutte biologique.

Les phéromones d'insectes ravageurs des palmiers

Recherches en cours et perspectives

Morin J.P.¹, Zagatti P.², Rochat D.², Descoins C.², Mariau D.¹

¹ CIRAD-CP, B.P. 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France

² INRA, unité de phytopharmacie et des médiateurs chimiques, Route de St Cyr, 78026 Versailles Cedex, France

Les substances sémiocimiques jouent un rôle important chez les insectes en les guidant vers le partenaire sexuel, la proie ou la plante-hôte. Les plus connues sont les phéromones sexuelles et les phéromones d'agrégation. Grâce aux nouvelles méthodes d'analyses physico-chimiques, à une meilleure connaissance du comportement des insectes et de leurs organes sensoriels et aux nouveaux moyens de synthèse organique, les recherches sur ces substances se sont beaucoup développées ces 30 dernières années.

Dans les pays à agriculture développée, elles sont largement utilisées pour la protection des cultures soit comme méthodes d'avertissements agricoles (piégeage sexuel) permettant une meilleure détection du ravageur et une appréciation quantitative de leurs niveaux de populations, soit comme méthodes de lutte (piégeage de masse, confusion sexuelle).

Ces substances peuvent servir également pour la détection ou la caractérisation

d'espèces insoupçonnées en un lieu géographique déterminé.

Dans les pays en voie de développement, l'utilisation des phéromones reste très inégale suivant le type de cultures et dépend, bien souvent, des conditions économiques et sociales qui rendent les recherches plus difficiles et l'exploitation des découvertes lente et aléatoire (Zagatti, 1993).

Pour certains ravageurs des palmiers, les recherches ont commencé il y a 8 ans environ. Elles ont été réalisées conjointement par l'Institut national de la recherche agronomique (Inra) qui dispose du personnel expérimenté pour l'obtention des extraits, les analyses et la synthèse des composés et par le Centre international en recherche agronomique pour le développement - département des cultures pérennes (Cirad-CP) qui a accès au terrain, au travers de nombreux partenaires dans la zone tropicale.

Après un rappel de la méthodologie habituellement suivie pour ces recherches, nous présenterons les principaux travaux

réalisés sur des lépidoptères défoliateurs et mineurs de racines et sur des Coléoptères Curculionidae et Dynastidae. Nous discutons ensuite des perspectives de développement possible.

Méthodologie

La caractérisation d'une phéromone sexuelle ou d'agrégation est l'aboutissement d'une succession d'observations et de recherches impliquant des biologistes et des chimistes.

La première étape est la mise en évidence de l'attractivité de l'un des sexes par l'autre dans les conditions naturelles. Pour y parvenir, on effectue des piégeages en utilisant des insectes vivants - insectes vierges lorsqu'il s'agit de lépidoptères. Ensuite, des observations sur les activités sexuelles, donnent des informations sur les conditions de la rencontre des insectes et, en conséquence, sur celles dans lesquelles est produite la phéromone. Il y a lieu de tenir compte de l'état physiologique des individus, du rythme d'activité et de la présence nécessaire ou non de la plante-hôte. Bien souvent un élevage au laboratoire se révèle indispensable pour disposer d'un grand nombre d'insectes dans les conditions optimales.

L'étude comporte ensuite les opérations suivantes, décrites dans de nombreux ouvrages spécialisés (Hummel et Miller, 1984) :

- isolement des phéromones ; préparation d'extraits : extraction des phéromones naturelles par excision des glandes à phéromone (lépidoptères) suivie d'une macération dans un solvant organique ou collecte sur un adsorbant spécifique des effluves de mâles ou de femelles (coléoptères) qui sont récupérés par élution avec un solvant ;
- étude de l'activité biologique des extraits en les testant soit par électroantennographie (EAG) sur antennes de mâles et de femelles (mesure du courant électrique apparaissant sur l'antenne lors de la perception d'un composé particulier) soit en olfactométrie ou en tunnel de vol (enceinte de grande taille dans laquelle on observe le vol ou la marche de l'insecte en réponse à un courant d'air odorisé par l'extrait naturel ou par la molécule synthétique à étudier) ;
- analyse physico-chimique des extraits par chromatographie en phase gazeuse (CPG) seule ou couplée avec la spectrométrie de masse (CPG/SM). La comparaison des chromatogrammes des extraits mâles et

femelles mettent parfois en évidence des composés spécifiques à l'un des deux sexes. La spectrométrie de masse et éventuellement des techniques spectroscopiques complémentaires (spectroscopie infra-rouge, spectroscopie de résonance magnétique nucléaire) permettent d'identifier la structure des molécules phéromonales. La mise en évidence de composés phéromonaux présents à l'état de trace mais biologiquement actifs est facilitée par l'utilisation du couplage CPG/EAG c'est-à-dire avec analyse CPG associée à une mesure simultanée EAG pour chaque constituant séparé préalablement ;

- synthèse des différentes molécules, constituants probables de la phéromone. Ces molécules sont alors testées individuellement en EAG puis en olfactométrie pour connaître les composés actifs ;
- mise au point d'une formulation avec un ou plusieurs constituants dans des proportions déterminées et à des doses optimales par des piégeages expérimentaux sur le terrain.

Il reste enfin à optimiser les conditions d'utilisation : présentation et diffusion du mélange attractif, forme des pièges, localisation et nombre...

Résultats

Cette méthodologie a été appliquée pour rechercher les phéromones de certains ravageurs importants des palmiers.

Lépidoptères défoliateurs

Sur la dizaine d'espèces les plus fréquentes et les plus dangereuses, les travaux concernent actuellement 3 espèces : deux Limacodidae et un Stenomidae.

Stenoma cecropia Meyrick, Stenomidae

Ce lépidoptère d'Amérique latine a une envergure de 30 mm. La chenille jaune pâle mesurant jusqu'à 25 mm se tient à l'intérieur d'un fourreau fixe fait de particules végétales et de déjections (photo 1). La nymphose s'effectue dans le fourreau larvaire. Ce lépidoptère est capable de très fortes pullulations qui peuvent atteindre plusieurs centaines de chenilles par feuille causant des défoliations où il ne reste que les nervures des folioles (Genty *et al.*, 1978).

Les études ont pu être conduites, assez facilement au départ, car le problème de l'élevage ne s'est pas posé ; des chrysalides pouvant, suivant les besoins, être récoltées facilement en grand nombre et séparées par sexe.



P. Genty

Photo 1. Chenille de *Stenoma cecropia*.
Stenoma cecropia caterpillar.

Une première expérience conduite en Colombie, en 1992, avec des femelles vierges a montré l'existence d'une phéromone sexuelle (figure 1a).

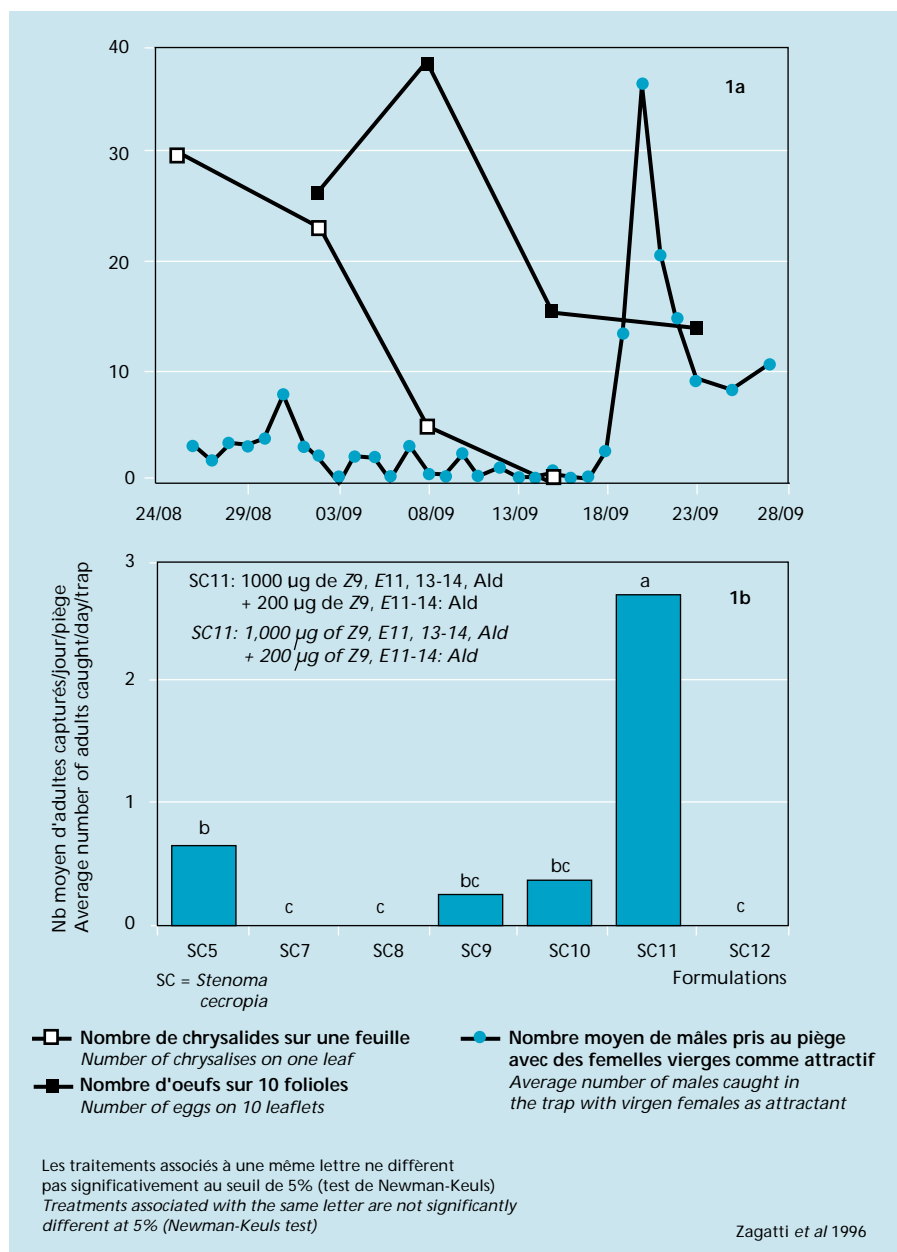
La recherche du composé phéromonal a été réalisée suivant une procédure classique à partir d'extraits glandulaires dans l'hexane préparés en Colombie. Différentes fractions obtenues par chromatographie ont été testées par électroantennographie sur des antennes de mâle. De la fraction active, il a été identifié 4 composés : 2 aldéhydes - (Z, E) - 9, 11, 13-tétradecatriénal (Z9, E11, 13-14 : Ald) et (Z, E) - 9, 11-tétradecadiénal (Z9, E11 - 14 : Ald) - et 2 acétates correspondants. Plusieurs mélanges de ces composés synthétisés ont été expérimentés au champ. L'un d'eux composé de 1 000 µg de Z9, E11, 13 - 14 : Ald et de 200 µg de Z9, E11- 14 : Ald, s'est révélé significativement plus efficace et correspond alors au mélange phéromonal (figure 1b) (Zagatti *et al.*, 1996).

Un attractif sexuel de synthèse est donc disponible pour *Stenoma cecropia*. Il reste maintenant à définir les conditions de son utilisation dans les plantations de palmiers et, en particulier, à établir la corrélation entre l'importance des captures de mâles et le niveau d'attaque dans les semaines ou les mois qui suivent.

Setothosea asigna Van Eecke, Limacodidae

En raison de ses importantes pullulations : des milliers de chenilles par feuilles et de leur voracité, ce lépidoptère Limacodidae est le défoliateur le plus important des plantations de palmiers à huile du Nord Sumatra en Indonésie.

L'adulte mesure 20 à 30 mm d'envergure et la chenille 35 mm à son complet développement (photo 2). Le cycle dure un peu plus de 3 mois dont 6 jours d'incubation des œufs, 50 jours de vie larvaire et 40 jours de

**Figure 1a.**

Captures de mâles de *Stenoma cecropia* dans des pièges appâtés avec deux femelles vierges (moyenne de 3 pièges) du 24 août au 28 septembre 1989 (plantation San Alberto, Colombie). Les niveaux de populations ont été estimés par comptages des chrysalides vivantes sur la feuille 17 et des œufs non éclotés sur 10 folioles de la même feuille.

Si l'attractivité des femelles vierges sur les mâles est nette entre le 18 et 23 septembre, on notera cependant qu'elle s'est manifestée tardivement par rapport au pic d'émergence des adultes qui a dû se produire fin août/début septembre. Ainsi, lorsque les populations sont très importantes au moment du pic d'émergence, la rencontre des sexes s'effectue plutôt sous stimulus visuel, le stimulus phéromonal n'intervenant que lorsque les insectes sont moins nombreux.

Captures of Stenoma cecropia males in traps containing two virgin females as bait (mean of 3 traps) from 24th August to 28th September 1989 (San Alberto plantation, Colombia). The population levels were estimated by counting living chrysalises on leaf 17 and unhatched eggs on 10 leaflets of the same leaf.

Whilst female attractiveness to males was clearly evident between 18th and 23rd September, it can be seen that it occurred late compared to the adult emergence peak that must have occurred at the end of August/beginning of September. It therefore seems in this case that when populations are very large at the time of the emergence peak, the meeting of the sexes tends to be more through visual stimuli, pheromonal stimulus only occurring when there are fewer insects.

Figure 1b.

Captures de *Stenoma cecropia* avec divers mélanges de composés synthétiques. Le mélange SC11, composé de 1 000 µg de Z9, E11, 13-14: Ald et 200 µg de Z9, E11-14: Ald, correspond au composé phéromonal. *Stenoma cecropia* captures with various mixtures of synthetic compounds. Mixture SC11, consisting of 1,000 µg of Z9, E11, 13-14: Ald and 200 µg of Z9, E11-14: Ald, corresponds to the pheromone compound.

R. Desmier de Chenon



Photo 2. Chenille de *Setothosea asigna*.
Setothosea asigna caterpillar.

nymphose (Mariau *et al.*, 1991). Comme pour *S. cecropia*, des cocons en grand nombre ont pu être envoyés au laboratoire pour l'obtention de femelles vierges et l'extraction de phéromones. L'attractivité

des extraits vis-à-vis des mâles a été étudiée en tunnel de vol puis les composés ont été analysés et identifiés. Les composés synthétiques furent dilués dans l'hexane et adsorbés sur une capsule en caoutchouc selon différentes combinaisons pour être expérimentés dans des pièges constitués de bouteilles plastiques.

Dans un premier essai comportant 2 pièges et comparant 7 formulations, le nombre de mâles pris dans les pièges avec la formule SA3 est remarquable mais on ne sait pas ce qu'il représente par rapport à la population environnante (figure 2a).

Un second essai utilisant seulement la formulation SA3 a été mis en place sur 30 ha, à raison d'un piège par ha, avec des

capsules renouvelées après 22 jours (figure 2b). Ce piégeage en continu a mis en évidence 2 sorties d'adultes à 1 mois d'intervalle, ce qui est plus court qu'une génération de *Setothosea*, et a montré que l'efficacité des capsules durait au moins 15 jours (Zagatti *et al.*, 1993).

Étant donné l'importance des superficies de palmiers à huile à protéger, l'application en lutte directe (captures de masse) n'est pas envisageable. Cependant, l'utilisation de l'attractif sexuel de synthèse améliorerait la surveillance du ravageur, actuellement basée sur le comptage des chenilles, et ainsi rendre plus efficace son contrôle par traitement à l'aide d'un insecticide.

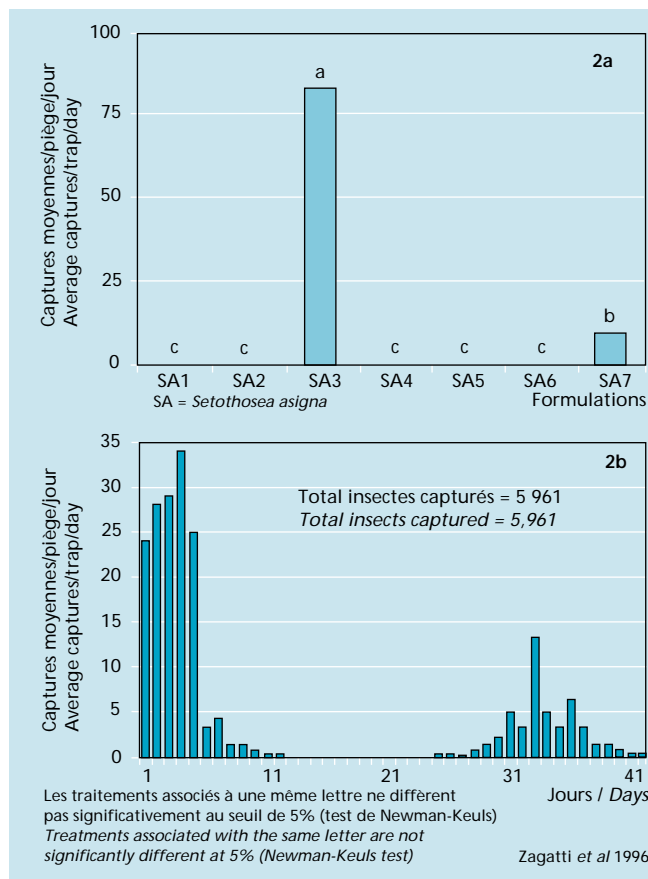


Figure 2a. Captures au piège sexuel du Limacodidae *Setothosea asigna* avec différentes formulations expérimentales. Captures in the Limacodidae *Setothosea asigna* sex trap with different experimental formulations.

Figure 2b. Observation des populations de *Setothosea asigna* au piège sexuel dans une plantation du Nord Sumatra (Indonésie). Observations of *Setothosea asigna* populations in a sex trap in a plantation in North Sumatra (Indonesia).

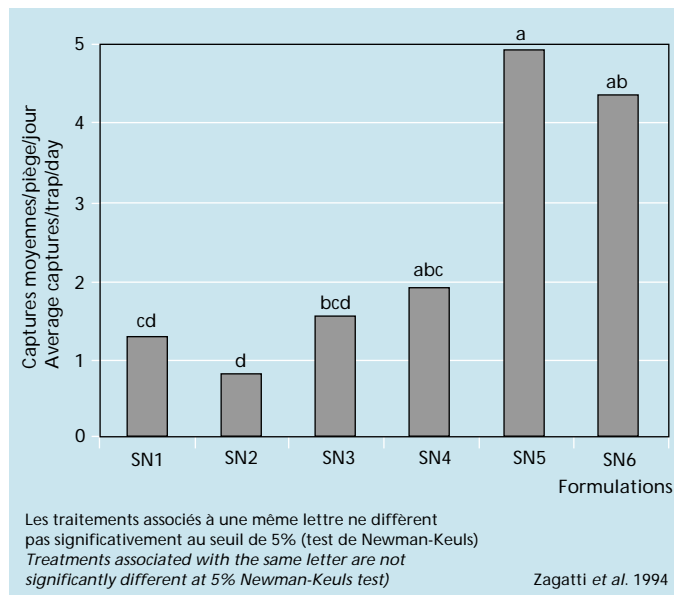


Figure 3. Captures au piège sexuel du Limacodidae *Setora nitens* avec différentes formulations expérimentales. Captures in the Limacodidae *Setora nitens* sex trap with different experimental formulations.

Setora nitens Walker, Limacodidae

C'est aussi un défoliateur important du palmier à huile et du cocotier dans divers pays du sud-est asiatique. Le cycle de développement est d'environ 2 mois dont 30 jours de vie larvaire et 23 jours de nymphose.

L'extraction de la phéromone a été faite à partir de femelles vierges issues de cocons

reçus d'Indonésie. Une procédure identique à celle utilisée pour *Setothosea* a permis d'arriver à des composés synthétiques qui ont servi à préparer différentes formulations qui sont en cours d'expérimentation (figure 3). Le premier objectif visé est la mise au point du piégeage pour la surveillance des populations (Zagatti et al., 1993).

Lépidoptères mineurs des racines

Le palmier à huile compte plusieurs espèces lépidoptères mineurs du système racinaire lequel peut parfois être fortement détérioré au point de ralentir le développement des palmiers et causer leur chute. Une surveillance régulière indique le seuil critique pour déclencher des traitements insecticides. Actuellement la recherche de phéromones ne concerne que l'espèce américaine *Sagatalassa valida* Walker, Brachodidae. C'est un petit papillon de 20 mm, difficile à voir en raison de sa couleur grise (photo 3). Les femelles pondent leurs œufs à la surface du sol, à proximité de la base du palmier. À l'éclosion, les jeunes larves s'enfoncent dans le sol et pénètrent dans les racines, qu'elles détruisent à mesure qu'elles se développent. La nymphose a lieu dans le sol. Le cycle est d'environ 2 mois et demi. La surveillance du ravageur est difficile car elle s'effectue en observant l'état sanitaire des racines dans un trou pratiqué à la base du palmier (Genty et al., 1978).

Pour étudier la phéromone de cette espèce, le problème majeur était donc de se procurer des femelles vierges. Ce problème a été surmonté en pratiquant des infestations artificielles sur des palmiers sains. La période d'activité sexuelle a été déterminée par l'observation directe du comportement des insectes qui s'accouplent vers 10 h du matin. Ces observations effectuées en Colombie ont été complétées par la réalisation sur place d'extraits de glandes à phéromone. L'analyse physico-chimique de ces extraits révèle l'existence d'un composé de structure totalement originale dont l'identification définitive est en cours.

Curculionidae des palmiers

Les Rhynchophores (*Rhynchophorus* spp.)

Les Rhynchophores sont des charançons de 30 à 50 mm de long dont les larves se développent dans les tissus vivants des palmiers et des cocotiers. En atteignant la zone de croissance ils provoquent la mort de l'arbre.

R. phoenicis (F.) en Afrique (photo 4), *R. vulneratus* (Panzer) et *R. ferrugineus* (Olivier) en Asie, *R. bilineatus* (Montrouzier) en Papouasie-Nouvelle-Guinée sont nuisibles seulement par leurs larves ; en Amérique latine, en revanche, *R. palmarum* (L.) est un ravageur plus redoutable car l'adulte est en outre un vecteur du



P. Genty

Photo 3. Adulte de *Sagalassa valida*.
Sagalassa valida adult.

nématode *Rhadinaphelenchus cocophilus* (Goodey) agent causal de la maladie de l'anneau rouge. La durée de développement de ces espèces est de 2 à 3 mois.

Depuis longtemps on a observé que les adultes mâles et femelles sont attirés par les odeurs de tissus en fermentation qui proviennent soit de blessures de palmiers sains, soit des pourritures d'arbres ma-

lades. Ils y viennent pour s'alimenter et les femelles y déposent leurs œufs. Ce comportement est utilisé depuis longtemps comme moyen de contrôle pour réduire les populations d'adultes à l'aide de pièges contenant des morceaux de palmier ou de cocotier (Morin *et al.*, 1986).

Les recherches ont confirmé d'une part, le rôle attractif des composés volatils émis par les tissus des palmiers en fermentation, mais aussi de plusieurs autres plantes saccharifères comme la canne à sucre, et d'autre part l'existence d'une phéromone d'agrégation émise par les mâles lorsqu'ils s'alimentent sur la plante-hôte. Elle agit en synergie avec les odeurs végétales pour attirer, en grand nombre, les charançons des deux sexes. (Rochat *et al.*, 1991a, 1991b, 1993a).

Le travail a d'abord été réalisé sur *R. palmarum* puis sur *R. phoenicis* et *R. vulneratus*. Pour *R. palmarum*, l'existence d'une attraction phéromonale a été montrée avec une expérience de terrain dans laquelle un effet de synergie a été observé entre le palmier et la présence des mâles pour l'attraction des congénères alors que les femelles n'induisent aucun effet (Rochat *et al.*, 1991a) (figure 4). Au laboratoire, des collectes d'effluves émises par les mâles, réalisées sur polymère adsorbant, ont permis d'isoler des composés spécifiques qu'on ne retrouvait ni chez les femelles, ni dans le végétal. Ces composés ont été testés au laboratoire en EAG et en olfactométrie pour vérifier leur activité,

puis ont été analysés par différentes techniques qui ont identifié un composé majoritaire, le (*E*)-2-méthylhept-5-én-4-ol nommé Rhynchophorol et un composé minoritaire (Rochat *et al.*, 1991b). De nombreux tests au laboratoire puis des essais au champ ont confirmé l'activité du Rhynchophorol synthétique alors que le composé minoritaire est inactif (figure 5).

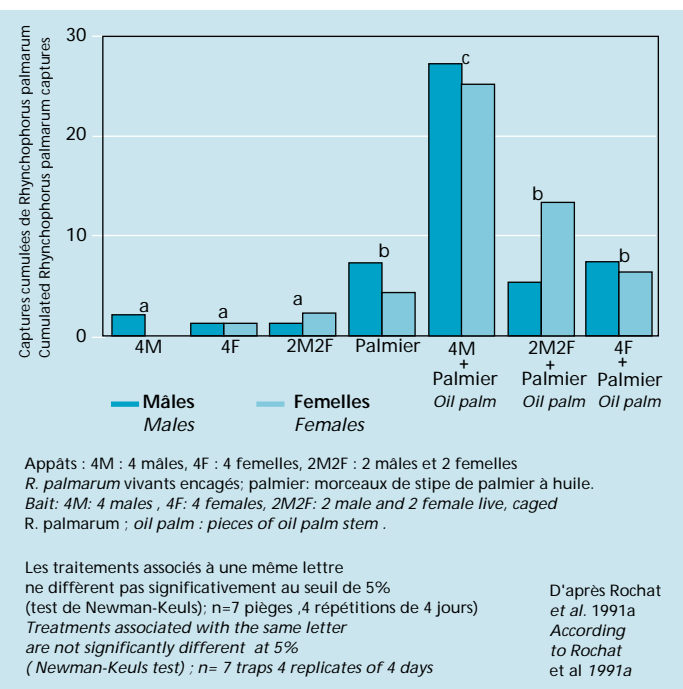
Le Rhynchophorol racémique en association avec du végétal (canne à sucre, cocotier ou palmier à huile) s'est révélé un puissant attractif qui accroît considérablement l'efficacité des pièges. Cette découverte a été confirmée par Oehlschlager *et al.* (1992, 1993) qui ont largement développé la technique au Costa Rica en étudiant les modèles et la disposition des pièges et en réalisant des captures de masse. Avec l'élimination de milliers de *R. palmarum*, il a été possible dans une plantation du Costa Rica de réduire l'incidence de l'anneau rouge de 30 à 80 % suivant les parcelles (Chinchilla *et al.*, 1993). La phéromone de synthèse, mélange racémique, maintenant produite commercialement, est utilisée dans divers pays d'Amérique latine. Elle est présentée dans des petits sachets en plastique poreux qui ont une durée d'émission de 3 mois. Les pièges recommandés sont constitués de récipients de 15 l fermés par un couvercle auquel est suspendu le sachet de phéromone et renfermant des morceaux de canne ou de palmier traités avec un insecticide. Des ouvertures sont pratiquées dans la partie haute des parois et dans le



P. Genty

Photo 4. Adulte de *Rhynchophorus phoenicis*.
Rhynchophorus phoenicis adult.

Figure 4.
Captures
de *Rhynchophorus*
palmarum à l'aide
d'adultes
de *R. palmarum*
vivants encagés avec
ou sans stipe
de palmier à huile.
Rhynchophorus
palmarum captures
using living, caged
R. palmarum adults,
with or without oil
palm stem.



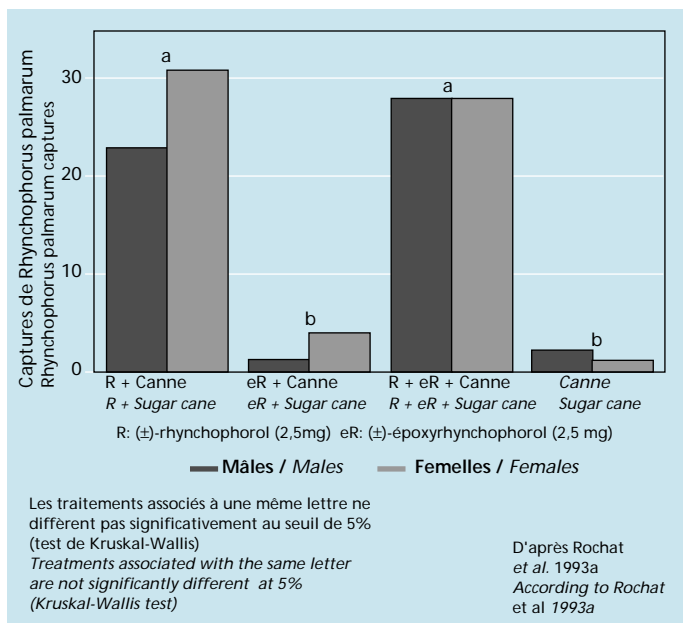


Figure 5. Piégeage de *Rhynchophorus palmarum* avec la phéromone synthétique associée ou non à des morceaux de canne à sucre. *Rhynchophorus palmarum* trapping with the synthetic pheromone combined, or not, with pieces of sugar cane.

couvercle. Le végétal doit être renouvelé toutes les 2 semaines.

Chez *R. phoenicis*, le composé volatil unique émis par le mâle a été identifié comme étant le (*S, S*)-3-méthyl-octan-4-ol (Rochat *et al.*, 1993b, 1993c, 1995). Le produit de synthèse utilisé avec des morceaux de cocotier dans un essai de piégeage a permis de capturer 25 fois plus d'insectes qu'avec le végétal seul (figure 6). Pour *R. vulneratus* d'Indonésie et *R. bilineatus* de Papouasie-Nouvelle-Guinée, les effluves de mâles comprennent 3 composés dont le majoritaire est le (*S, S*)-4-méthyl-nonan-5-ol (Rochat *et al.*, 1993b, Ollivier 1995, Oehlschlager *et al.*, 1995).

R. ferrugineus est un ravageur important du cocotier en Inde et au Sri Lanka. Dans

les années 90, cet insecte est arrivé accidentellement dans divers pays du Moyen Orient (Emirats arabes unis, Oman, Egypte et Iran) où il cause des dégâts sur palmier dattier. En 1995, il a été découvert au sud de l'Espagne. Chez cette espèce (Spécimens d'Iran et d'Espagne) la sécrétion phéromonale mâle comprend les composés déjà connus chez *R. vulneratus* et chez *R. bilineatus* (Rochat, comm. pers.).

Chez tous ces Rhynchophores, des travaux similaires ou complémentaires ont été réalisés par une équipe canadienne de l'Université Simon Fraser (Hallet *et al.*, 1993; Gries *et al.*, 1993; Perez *et al.*, 1995).

En Guyane, des travaux se poursuivent pour étudier l'attractivité de différents composés déjà identifiés dans la canne à

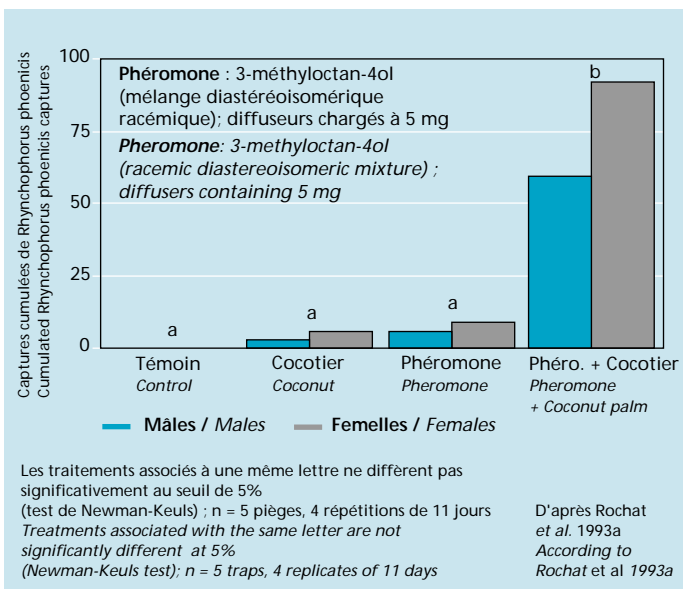


Figure 6. Piégeage de *Rhynchophorus phoenicis* avec la phéromone synthétique dans une plantation de cocotiers en Côte d'Ivoire. *Rhynchophorus phoenicis* trapping with the synthetic pheromone in a coconut plantation in the Côte d'Ivoire.

sucre, le palmier à huile et le cocotier (Rochat *et al.*, 1993a) et agissant en synergie avec la phéromone. L'objectif est de produire un attractif complètement synthétique. Un pas décisif a été franchi dans ce sens en 1996.

Metamasius hemipterus (L.)

Comme pour les Rhynchophores précédents, les tissus des plantes saccharifères attirent fortement ce petit Curculionidae d'Amérique latine, en particulier la canne à sucre pour laquelle il est signalé comme très nuisible en Colombie. Il est très fréquent dans les plantations de palmiers à huile. Les adultes sont nombreux et visibles au niveau des cicatrices foliaires faites au moment de l'élagage et de la récolte. On les trouve aussi sur les restes de feuilles en fermentation, abandonnées dans l'andain. Considéré jusqu'à récemment sans importance économique, il est soupçonné maintenant d'être aussi vecteur de l'anneau rouge (Calvache *et al.*, 1994) et les planteurs souhaitent pouvoir le contrôler. Les études ont mis en évidence 5 composés spécifiques produits par les mâles et constituant la phéromone : le (*S, S*)-4-méthyl-nonan-5-ol (composé majoritaire déjà connu chez *R. vulneratus*, *R. ferrugineus* et *R. bilineatus*), le 2-méthylheptan-4-ol, le 2-méthyl-octan-4-ol, le 5-nonanol et la 3-hydroxy-4-méthyl-nonan-5-one (Ramirez *et al.*, 1996a).

Pour le piégeage de masse, le mélange de 2 composés racémiques de synthèse est suffisant : le majoritaire : 4-méthyl-nonan-5-ol et l'un ou l'autre des minoritaires : 2-méthylheptan-4-ol ou 2-méthyl-octan-4-ol. Ce mélange doit cependant être associé à l'odeur de canne fermentée (Ramirez *et al.*, 1996b) qu'il synergise très fortement.

Le tableau présente les molécules qui composent les phéromones des différents Rhynchophorinae déjà étudiés.

Dynastidae : *Oryctes rhinoceros* (L.)

Les *Oryctes* sont des ravageurs très importants des palmiers et des cocotiers en particulier *O. rhinoceros* dans le sud-est asiatique et le Pacifique. L'insecte se reproduit dans les bois en décomposition mais l'adulte se nourrit sur les palmiers en creusant des galeries à la base des jeunes feuilles ce qui affecte le développement de la plante (photos 5 et 6). La lutte vise à éliminer les adultes pour réduire les dégâts et empêcher leur multiplication. Depuis longtemps les planteurs de palmiers et surtout de cocotiers souhaitent piéger ces insectes. Le chrysanthémate d'éthyle (rhinolure), dé-

Molécules constituant les phéromones des différentes espèces de Rhynchophorinae.
Molecules making up the pheromones of different Rhynchophorinae species

Composés / Compound		Espèces de charançon Rhynchophorinae / Rhynchophorinae weevil species					
Nom / Name	Structure	<i>Methamasius hemipterus</i> (L)	<i>Rhynchophorus palmarum</i> (L.)	<i>Rhynchophorus phoenicis</i> (F.)	<i>Rhynchophorus ferrugineus</i> (Ol.)	<i>Rhynchophorus vulneratus</i> (Panz.)	<i>Rhynchophorus bilineatus</i> (Montr.)
2-méthylheptan-4-ol		1-8					
2-méthylhept-(5E)-én-4-ol (Rhynchophorol)			80-100				
2,3-époxy-6-méthylheptan-4-ol (Epoxyrhynchophorol)			0-20				
2-méthyloctan-4-ol		1-8					
3-méthyloctan-4-ol (Phoenicol)				100	2,5-10	2,5-10	2,5-10
Nonan-5-ol		0,5-5					
4-méthylnonan-5-one (Ferruginéone)		0,5-4			2,5-10	2,5-10	2,5-10
4-méthylnonan-5-ol (Ferruginéol)		60-95			80-95	80-95	80-95
3-hydroxy-4-méthylnonan-5-one		1-15					

La fourchette de valeurs données pour un composé indique sa proportion dans la sécrétion phéromonale de l'espèce considérée.

The range of values given for a compound indicates its proportion in the pheromone secretion of the species in question.

Les valeurs en caractères gras indiquent que le composé est indispensable pour obtenir une attraction optimale.

The values in bold indicate that the compound is essential for obtaining optimum attraction.

D'après Rochat et al. 1993c

According to Rochat et al. 1993c



R. Desmiers de Chenon

Photo 5. Adulte de *Oryctes rhinoceros*.
Oryctes rhinoceros adult.

couvert en l'expérimentant sur *O. rhinoceros*, dans le Pacifique (Maddison et al., 1973), s'est montré peu efficace et a été abandonné pour le piégeage de masse. En revanche, l'attractivité de ce composé est bien meilleure sur l'espèce africaine *O. monoceros*, mais pas suffisante cependant pour en faire un moyen de contrôle systématique du ravageur (Julia et Mariau, 1976).

La recherche de phéromone a commencé par des collectes d'effluves de mâles et de femelles avec des insectes reçus d'Indoné-



J.P. Morin

Photo 6. Adulte de *Oryctes rhinoceros* dans sa galerie alimentaire.
Oryctes rhinoceros in its feeding gallery.

sie et des Philippines. Les extraits actifs en EAG, provenant de collectes d'effluves de mâles, renferment un composé spécifique qui est absent dans les extraits de femelles. Ce composé a été identifié comme étant le 4-méthyloctanoate d'éthyle déjà décrit comme phéromone de *O. monoceros* (Gries et al., 1994). Le 4-méthyloctanoate d'éthyle synthétisé au laboratoire et expérimenté en piégeage de terrain en Indonésie au Nord Sumatra a permis la capture de 6,8 insectes par semaine et par piège alors que le chrysanthémate d'éthyle n'en a pris que 0,3 et le témoin aucun (figure 7). Attirant mâles et femelles, le 4-méthyloctanoate d'éthyle répond à la définition d'une phéromone d'agrégation. Il semble cependant avoir un rôle sexuel car il attire préférentiellement les femelles (Morin et al., 1996). Ces travaux confirment les résultats obtenus par Hallet et al. (1995) sur la même espèce *O. rhinoceros*. La mise en évidence de la phéromone chez *O. rhinoceros* donne maintenant la possibilité d'utiliser un attractif puissant pour des piégeages de masse. Il faut encore optimiser les conditions d'emploi : doses, addition d'éventuels produits secondaires ou synergiques, forme des pièges, localisation et nombre dans les parcelles à protéger.

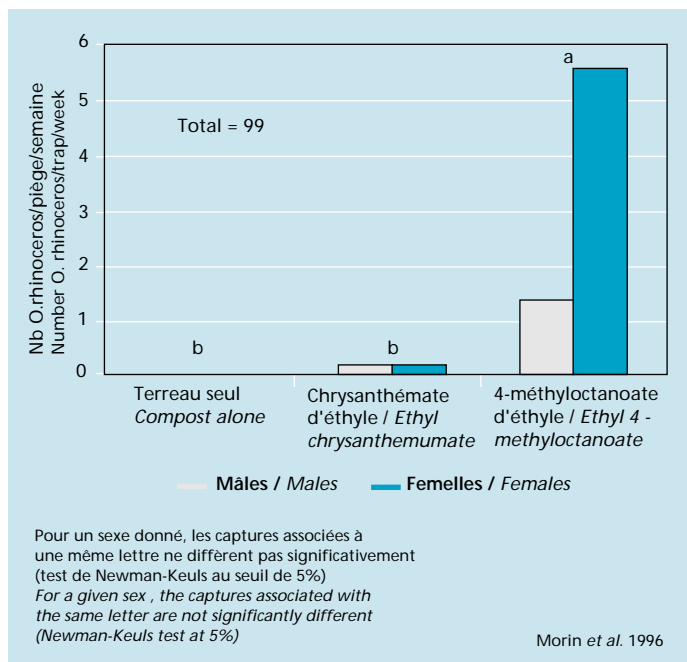


Figure 7. Piégeage d'*Oryctes rhinoceros* à l'aide du 4-méthylctanoate d'éthyle et du chrysanthémate d'éthyle (moyenne de 7 pièges). *Oryctes rhinoceros* trapping using ethyl 4-methylctanoate and ethyl chrysanthemumate (mean of 7 traps).

comme les *Oryctes* présentent certaines caractéristiques qui devraient assurer le succès de la technique :

- les dégâts sont causés par les adultes pour les *Oryctes*, par les larves ou par les nématodes véhiculés par les adultes pour les Rhynchophores. En éliminant les adultes on réduit directement les dommages faits à la plante ;
- la densité des populations est généralement faible. Les captures de quelques insectes à quelques dizaines d'insectes peuvent être suffisantes pour passer en dessous du seuil de nuisibilité ;
- les planteurs, qui ont souvent pratiqué l'élimination des adultes soit manuellement soit au moyen de piégeage à l'aide de végétal ou d'attractifs peu performants, sont donc très réceptifs à toute innovation permettant des captures importantes.

Le piégeage des *Oryctes* s'effectue quand il y a pullulation et dégâts sur les jeunes cultures notamment en cas de replantation. Cette période de 2 à 4 ans correspond au temps nécessaire pour la destruction complète des gîtes larvaires potentiels offerts par les vieux bois.

Cette technique pourra rendre également de grands services dans certaines situations où les gîtes larvaires n'auront pu être que partiellement éliminés et où il est difficile d'avoir de beaux cocotiers en raison des attaques répétées (sites touristiques et jardins, par exemple).

Pour les Rhynchophores, les phéromones d'agrégation ont permis d'améliorer considérablement l'efficacité du piégeage traditionnel. La prochaine étape pour laquelle les études sont déjà avancées vise à trouver des substances de synthèse qui reproduiront les composés naturels émis par les tissus des végétaux. Ces substances associées à la phéromone fourniront des attractifs entièrement synthétiques qui permettront de piéger les Rhynchophores en l'absence totale de végétal ce qui représentera un réel progrès. ■

Scapanes australis (Boiduval) est un Dynastidae noir de 5 à 6 cm. En Papouasie-Nouvelle-Guinée, les adultes provoquent de sérieux dégâts aux jeunes cocotiers dans les Iles du Nord. Dans certains sites, les pertes très importantes ont contraint les agriculteurs à abandonner le cocotier comme plante d'ombrage pour le cacaoyer. Des observations sur le comportement des adultes laissent penser que les femelles, très actives la nuit, sont attirées par les mâles (Morin, 1991 ; Ollivier, 1995). Des travaux ont été entrepris avec le Cocoa and Coconut Research Institute, en vue d'identifier une probable phéromone qui permettrait de développer une méthode de piégeage qui viendrait compléter les mesures de contrôle actuellement mise en œuvre.

Perspectives et conclusion

Ces travaux sur la communication chimique de ravageurs des palmiers ne débouchent pas tous sur une application agricole à grande échelle. Pour optimiser l'usage des attractifs chimiques et définir des stratégies d'utilisation, il faut encore réaliser de nombreux essais.

Les résultats attendus vont dans le sens d'une sauvegarde de l'environnement en assurant une meilleure utilisation des insecticides avec réduction des risques de pollution, diminution des cas de résistance et conservation de la faune utile.

Les lépidoptères défoliateurs des palmiers, ravageurs très nuisibles, nécessitent, pour éviter de sévères défoliations, une étroite surveillance des populations afin de bien ajuster les traitements insecticides. En raison de la taille des plantations, les moyens de surveillance sont lourds.

Dans la mesure où on a affaire à une seule espèce principale, les piégeages à l'aide de phéromone sexuelle de synthèse vont grandement faciliter la surveillance des cultures en fournissant des informations sur les niveaux de populations d'adultes. En rapportant celles-ci aux populations larvaires des feuilles et à l'importance des dégâts, il sera possible d'établir des corrélations entre captures et dégâts à venir ; c'est donc un outil précieux pour la prise de décision des traitements insecticides.

La stratégie de piégeage de masse est en train de se développer pour les coléoptères déjà étudiés. Les Rhynchophores

Cette présentation des travaux menés par l'Inra et le Cirad montre le chemin déjà parcouru dans le domaine de la communication chimique des insectes des palmiers. La méthodologie est maintenant bien maîtrisée grâce à une équipe expérimentée et pluridisciplinaire et à des outils performants.

Il faut souhaiter que des financements pourront être mobilisés pour développer, avec des chercheurs des pays planteurs de palmiers à huile et de cocotiers, les coopérations qui permettront de nouveaux progrès et la mise en application pratique des résultats obtenus.

Bibliographie / References

- CALVACHE H., MEJIA A., HERNANDEZ M.I., MUÑOZ J.M., 1994. Acción de *Metamasius hemipterus* L. (Coleoptera : Curculionidae) en la transmisión del anillo rojo de las palmas de aceite. Palmas 15 : 17-22.
- CHINCHILLA C.M., OEHLISCHLAGER A. C., GONZALEZ L.M., 1993. Management of red ring disease in oil palm through pheromone-based trapping of *Rhynchophorus palmarum* (L.). In : PORIM international palm oil congress: update and vision, Kuala Lumpur, Malaisie, 20-25 September 1993. Kuala Lumpur, Malaisie, Palm Oil Research Institute of Malaysia, p. 428-441.
- GENTY P., DESMIER DE CHENON R., MORIN J.P., 1978. Les ravageurs du palmier à huile en Amérique latine. *Pyralidae : Sufetula*. Oléagineux 33 (7) : 396-397.
- GRIES G., GRIES R., PEREZ A.L., OEHLISCHLAGER A. C., GONZALEZ L.M., PIERCE H.D., KOUIDA BONAFOS M., ZEBEYOU M., NANOU N., 1993. Aggregation pheromone of the African palm weevil *Rhynchophorus phoenicis* F. Naturwissenschaften 80 : 90-91.
- GRIES G., GRIES R., PEREZ A.L., OEHLISCHLAGER A.C., GONZALEZ L.M., PIERCE JR H.D., ZEBEYR M., KOUAMÉ B., 1994. Aggregation pheromone of the African rhinoceros beetle, *Oryctes monoceros* (Olivier) (Coleoptera : Scarabaeidae). Z. Naturforsch. 49c : 363-366.
- HALLET R.H., GRIES G., GRIES R., BORDEN J.H., CZYZEWSKA E., OEHLISCHLAGER A. C., PIERCE H.D., ANGERILLI N.P.D., RAUF A., 1993. Aggregation pheromone of two Asian palm weevils, *Rhynchophorus ferrugineus* and *R. vulneratus*. Naturwissenschaften 80 : 328-331.
- HALLET R.H., PEREZ A.L., GRIES G., GRIES R., PIERCE H.D.Jr., YUE J., OEHLISCHLAGER A.C., GONZALEZ L. M., BORDEN J.H., 1995. Aggregation pheromone of the coconut rhinoceros beetle, *Oryctes rhinoceros* (L.) (Coleoptera: Scarabaeidae). J. Chem. Ecol. 21 : 1549-1570.
- HUMMEL H.E., MILLER T.A., 1984. Techniques in pheromone research. Berlin, Allemagne, Springer-Verlag, 464 p.
- JULIA J.F., MARIAU D., 1976. Recherches sur *Oryctes monoceros* Ol. en Côte d'Ivoire. III. Piègeage olfactif à l'aide de chrysanthémate d'éthyle. Oléagineux 31 (6) : 263-272.
- MADDISON P.A., BEROZA M., MCGOVERN T.P., 1973. Ethyl chrysanthemumate as an attractant for the coconut rhinoceros beetle. J. Econ. Entomol. 66 : 591-592.
- MARIAU D., DESMIER DE CHENON R., SUDARTO P.S., 1991. Les insectes ravageurs du palmier à huile et leurs ennemis en Asie du Sud-Est. *Limacodidae : Setothosea*. Oléagineux 46 (11) : 428-429.
- MORIN J.P., 1991. The significance of coconut pests in Vanuatu, Papua New Guinea and the Solomon Islands : *Oryctes*, *Scapanes*, *Rhynchophorus* and *Sexava*. Paris, France, Cirad-IRHO, 40 p. (document interne).
- MORIN J.P., LUCCHINI F., ARRAUJO J.C., FERREIRA J.M., FRAGA L.S., 1986. Le contrôle de *Rhynchophorus palmarum* par piégeage à l'aide de morceaux de palmier. Oléagineux 41 (2) : 51-62.
- MORIN J.P., ROCHAT D., MALOSSE C., LETTERE M., DESMIER DE CHENON R., WIBOWO H., DESCOINS C., 1996. La 4-méthylcyclohexanoate d'éthyle, composé principal de la phéromone mâle d'*Oryctes rhinoceros* (L.) (Coleoptera, Dynastidae). C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la vie 319 : 595-602.
- NAGNAN P., CAIN A. H., ROCHAT D., 1992. Extraction et identification des composés volatils de la sève de palmier à huile fermentée (vin de palme), attractifs potentiels pour le charançon du palmier. Oléagineux 47 (3) : 135-142.
- OEHLISCHLAGER A. C., PIERCE H. D., MORGAN B., WIMALARATNE P. D. C., SLESSOR K. N., KING G. G. S., GRIES G., GRIES R., BORDEN J. H., JIRON L. F., CHINCHILLA C. M., MEXZAN R. G., 1992. Chirality and field activity of rhynchophorol, the aggregation pheromone of the American palm weevil. Naturwissenschaften 79 : 134-135.
- OEHLISCHLAGER A.C., PRIOR R.N.B., PEREZ A.L., GRIES R., GRIES G., PIERCE H.D. Jr, LAUP S., 1995. Structure, chirality and field testing of a male-produced aggregation pheromone of Asian palm weevil *Rhynchophorus bilineatus* (Montr.) (Coleoptera: Curculionidae). J. Chem. Ecol. 21 : 1619-1629.
- OEHLISCHLAGER A. C., CHINCHILLA C.M., GONZALEZ L.M., JIRON L.F., MEXZON R., MORGAN B., 1993. Development of a pheromone-based trapping system for *Rhynchophorus palmarum* (Coleoptera: Curculionidae). J. Econ. Entomol. 86 : 1381-1392.
- OLLIVIER L., 1995. Investigations for the biological control of rhinoceros beetle (*Scapanes australis* Boisd., *Oryctes centaurus* Stern.) and black palm weevil *Rhynchophorus bilineatus* Montr.) on the mainland of Papua New Guinea. Paris, France, Cirad-CP, 34 p. (document interne).
- PEREZ A.L., HALLET R., GRIES G., GRIES R. PIERCE H.D.Jr, BORDEN J.H., OEHLISCHLAGER A.C., 1995. Pheromone chirality of Asian palm-weevils, *Rhynchophorus ferrugineus* (Oliv.) and *R. vulneratus* (Panz.) (Coleoptera: Curculionidae). J. Chem. Ecol. 22 : 357-368.
- RAMIREZ-LUCAS P., MALOSSE C., DUCROT P.H., LETTERE M., ZAGATTI P., 1996a. Chemical, identification, electrophysiological and behavioral activities of the pheromone of *Metamasius hemipterus* (Coleoptera: Curculionidae). Bioorg. & Med. Chem. Lett. 4 : 323-330.
- RAMIREZ-LUCAS P., ROCHAT D., M., ZAGATTI P., 1996b. Field trapping of *Metamasius hemipterus* with synthetic aggregation pheromone. Entomol. Exp. Appl. 80 : 453-460.
- ROCHAT D., DESCOINS C., GENTY P., GONZALEZ A., MARIAU D., VILLANUEVA A., ZAGATTI P., 1991a. Evidence for a male-produced aggregation pheromone in the American palm weevil, *Rhynchophorus palmarum* L. (Coleoptera: Curculionidae). J. Chem. Ecol. 17 : 1221-1230.
- ROCHAT D., MALOSSE C., LETTERE M., DUCROT P.H., ZAGATTI P., RENOU M., DESCOINS C., 1991b. Male-produced aggregation pheromone in the American palm weevil, *Rhynchophorus palmarum* (L.) (Coleoptera: Curculionidae): collection, identification, electrophysiological activity and laboratory bioassay. J. Chem. Ecol. 17 (11) : 2127-2141.
- ROCHAT D., DESCOINS C., MALOSSE C., NAGNAN P., ZAGATTI P., AKAMOU F., MARIAU D., 1993a. Ecologie chimique des charançons des palmiers, *Rhynchophorus* spp. (Coleoptera). Oléagineux 48 : 225-236.
- ROCHAT D., MALOSSE C., LETTERE M., RAMIREZ-LUCAS P., EINHORN J., ZAGATTI P., 1993b. Identification of new pheromone-related compounds from volatiles produced by males of four Rhynchophorinae weevils (Coleoptera, Curculionidae). C.R. Acad. Sc. Paris, Ser. II 316 : 1737-1742.
- ROCHAT D., RAMIREZ-LUCAS P., MALOSSE C., ZAGATTI P., LETTERE M., MORI K., 1993c. Pheromones and pheromone-related volatiles of four Rhynchophorinae weevils (Coleoptera: Curculionidae). Pheromone technology in Europe and in the developing countries. IOBC WPRS Bull. 16 : 178-184.
- ROCHAT D., AKAMOU F., SANGARÉ A., MARIAU D., MORI K., 1995. Field trapping of *Rhynchophorus phoenicis* with stereoisomers of the synthetic aggregation pheromone. C.R. Acad. Sci. Paris 318 : 183-190.
- ZAGATTI P., 1993. Pheromones in developing countries: the 15-Year Experience of French research organisations (INRA-CIRAD). IOBC WPRS Bull. 16: 131-135.
- ZAGATTI P., DESMIER DE CHENON R., GENTY P., ROCHAT D., MARIAU D., 1993. The pheromonal substances of some oil palm insect pest species: initial results. In : PORIM international oil palm congress: update and vision, Kuala Lumpur, Malaisie, 20-25 septembre 1993. Kuala Lumpur, Malaisie, Palm Oil Research Institute of Malaysia, p. 689-697.
- ZAGATTI P., LUCAS P., GENTY P., ARANGO S., MALOSSE C., TELLIER F., 1996. Sex pheromone of *Stenoma cecropia* (Meyrick) (Lepidoptera: Elachistidae). J. Chem. Ecol. 22 (6) : 1103-1121.

The pheromones of insect pests affecting palms

Research under way and prospects

Morin J.P.¹, Zagatti P.², Rochat D.², Descoins C.², Mariau D.¹

¹ CIRAD-CP, B.P. 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France

² INRA, unité de phytopharmacie et des médiateurs chimiques, Route de St Cyr, 78026 Versailles Cedex, France

Pheromones play a very important role in the chemical ecology of a great many insects. With knowledge of these substances, it should be possible to develop population monitoring techniques and, in some cases, biological control methods.

Semeiochemical substances play an important role in insects by guiding them towards their sexual partner, prey, or host plant. Research on these substances, the best known of which are sexual pheromones and aggregative pheromones, has made considerable progress over the past 30 years, through new physico-chemical analysis methods, better knowledge of insect behaviour and their sensorial organs and new organic synthesis methods.

They are widely used for crop protection in countries with a highly developed agricultural sector, either as agricultural early warning systems (sexual trapping) enabling better pest detection and an evaluation of population levels, or as control methods (mass trapping, sexual confusion).

These substances can also be used to detect or characterize species that are not suspected at a given geographical site.

The use of pheromones varies in developing countries, depending on the type of crops and often on the economic and social conditions, which make research more difficult and mean that any discoveries can only be applied slowly and somewhat haphazardly (Zagatti, 1993).

For certain palm pests, research began some eight years ago, and has been carried out jointly by the *Institut national de la recherche agronomique* (Inra), which has experienced staff to produce extracts and carry out compound analyses and synthesis, and the Tree Crops Department of the *Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement* (Cirad-Cp), which has access to the field through its many partners in the tropical zone.

After a reminder of the methodology generally adopted for this research, we shall go on to describe the main work carried out on leaf-eating and root-mining Lepidoptera and on Coleoptera Curculionidae or Dynastidae. We shall then discuss development prospects.

Methodology

Discovery of a sexual or aggregation pheromone is the outcome of a succession of observations and research involving biologists and chemists.

The first stage is to determine the attractiveness of one sex to the other in the wild. To do this, trapping is carried out using live insects, virgins in the case of Lepidoptera. This first stage, which is completed with observations on sexual activity, provides information on the conditions under which insects encounter each other and consequently on the conditions under which the pheromone is produced. The physiological condition of all the insects, their activity patterns and the possible need for a host plant have to be taken into account. Laboratory rearing is often essential to obtain a large number of insects under optimum conditions.

The study of pheromones then includes the following operations, which have been described in many specialist works (Hummel and Miller, 1984):

- pheromone isolation, extract preparation: natural pheromone extraction by excising the pheromone glands (Lepidoptera), followed by soaking in an organic solvent, or separate collection of male and female volatiles (Coleoptera) on a specific adsorbent, which are recovered by elution with a solvent;
- study of the biological activity of the extracts, testing them either by electroantennography (EAG) on male and female antennae (measuring the electric current on the antennae in response to a particular compound) or by olfactometry or in a flight tunnel (a large chamber for observing how insects fly or walk in reaction to an air flow containing the odour of the natural extract or synthetic molecule under study);
- physico-chemical analysis of the extracts by gas chromatography (GC), alone or combined with mass spectrometry (GC/MS). Comparing the chromatograms for male and female extracts sometimes reveals compounds specific to one of the two sexes. Mass spectrometry, combined with possible spectroscopic techniques (infrared spectroscopy, nuclear magnetic resonance spectroscopy), can be used to identify the structure of pheromone molecules. The detection of pheromone compounds present in trace form but biologically active is simplified by using combined GC/EAG, i.e. GC analysis com-

bined with simultaneous EAG measurement for each previously separated component;

- synthesis of the different molecules that are likely components of the pheromone, which are then tested individually by EAG, then by olfactometry, to determine the active compounds;
- development of a formulation containing one or more components in given proportions, and determination of optimum doses, by experimental trapping in the field.

Lastly, the conditions for use have to be optimized: presentation and diffusion of the attractant mixture, type, location and number of traps.

Results

This methodology was applied in the search for the pheromones of certain major palm pests.

Leaf-eating Lepidoptera

Of the dozen or so most common and most dangerous species, pheromone research is currently concentrating on three species: two Limacodidae and a Stenomidae.

Stenoma cecropia Meyrick, Stenomidae

This South American lepidopteran has a wingspan of 30 mm. The pale yellow caterpillar is up to 25 mm long and has a fixed sheath made of plant particles and excreta (photo 1). Pupation takes place in the larval sheath. This lepidopteran is capable of very severe outbreaks (up to several hundred caterpillars per leaf), causing defoliation that leaves just the midrib of the leaflets (Genty *et al.*, 1978).

The initial studies were quite easy, as the rearing problem did not arise: chrysalises could be collected in large numbers as required, and the sexes separated.

The first experiment carried out in Colombia in 1992 with virgin females revealed the existence of a sexual pheromone (figure 1a).

The search for the pheromonal compound followed a conventional procedure, using gland extracts in hexane prepared in Colombia. Different fractions obtained by chromatography were tested by electroantennography on male antennae. Four compounds were identified in the active fraction: 2 aldehydes - (Z, E)-9,11,13-tetradec-

catrinal (Z9, E11, 13-14 : Ald) and (Z, E)-9,11-tetradecadienal (Z9, E11-14 : Ald) - and 2 corresponding acetates. Several mixtures of synthetic compounds were tested in the field. One of them, composed of 1,000 mg of Z9, E11, 13-14 : Ald and 200 mg of Z9, E11-14 : Ald, proved significantly more effective, and thus corresponded to the pheromonal mixture (figure 1b) (Zagatti *et al.*, 1996).

A synthetic sexual attractant is therefore available for *Stenoma cecropia*. What now needs to be done is to determine the conditions for its use in palm plantations, and particularly to establish the correlation between the number of males captured and the level of attacks in the following few weeks or months.

***Setothosea asigna* Van Eecke, Limacodidae**

This Limacodidae lepidopteran is the most serious oil palm pest in North Sumatra, Indonesia, due to its severe outbreaks (thousands of caterpillars per leaf) and the voracity of its caterpillars.

The adult has a wingspan of 20 to 30 mm and the caterpillar is 35 mm long when fully developed (photo 2). The cycle lasts a little over three months, including six days for egg incubation, 50 days for the various larval instars and 40 days' pupation (Mariau *et al.*, 1991). As with *S. cecropia*, large numbers of cocoons were sent to the INRA laboratory to produce virgin females for pheromone extraction. The attractiveness of these extracts to males was studied in a flight tunnel, and the compounds were then analysed and identified. The synthetic compounds were diluted in hexane and adsorbed on a rubber capsule in different combinations for testing in traps made with plastic bottles.

Figure 2a gives capture figures for two traps in an initial trial comparing seven formulations. The number of males trapped with formula SA3 was remarkable, but we do not know what it represented in relation to the overall population.

A second trial using only formula SA3 was carried out on 30 ha, with one trap per ha, replacing the capsules after 22 days (figure 2b). This continuous trapping revealed two adult emergence periods, a month apart, which is shorter than a *Setothosea* generation, and showed that the capsules were effective for at least a fortnight (Zagatti *et al.*, 1993).

Application to direct control (mass captures) is not practical, given the extent of the oil palm plantations to be protected. However, using the synthetic sexual attractant should make it possible to improve pest monitoring, which is currently based on counting the caterpillars, hence making control by insecticide treatment more effective.

***Setora nitens* Walker, Limacodidae**

This other Limacodidae is also a major oil palm and coconut leaf-eating pest in various Southeast Asian countries. The development cycle lasts

around two months, including 30 days for the larval instars and 23 days' pupation.

The pheromone was extracted from virgin females taken from cocoons sent from Indonesia. The procedure used was identical to that for *Setothosea*, and produced synthetic compounds that were used to prepare different formulations that are currently being tested (figure 3). The first aim is to develop trapping with a view to population monitoring (Zagatti *et al.*, 1993).

Lepidopteran root miners

Oil palm is affected by several lepidopteran root miners, which can sometimes damage the root system to such an extent as to slow palm development and cause them to topple. Regular monitoring is therefore needed, and once the critical threshold is reached, insecticides are applied. Only the South American species *Sagalassa valida* Walker, Brachodidae is currently being used for pheromone research.

Sagalassa valida is a small moth with a wingspan of 20 mm. It is difficult to see due to its grey colouring (photo 3). The females lay their eggs on the soil surface, near the base of palms. On hatching, the young larvae burrow into the soil and penetrate the roots, which they destroy as they develop.

Pupation takes place in the soil. The cycle lasts around two and a half months. The pest is difficult to monitor, as root condition has to be observed through a hole at the base of the palm (Genty *et al.*, 1978).

The main problem in studying the pheromone of this species was obtaining virgin females, due to the particular biology of the larvae. This problem was overcome by carrying out artificial infestations on healthy palms. The sexual activity period was determined by directly observing insect behaviour: they mated at around 10:00 am. These observations in Colombia were completed by collecting pheromone gland extracts, and their physico-chemical analysis revealed a compound with a totally original structure, which is now being definitively identified.

Curculionidae affecting palms

***Rhynchophorus* spp.**

Rhynchophorus are large weevils 30 to 50 mm long, whose larvae develop in the living tissues of oil palms and coconut palms. Once they reach the growth zone, they kill the palm.

Only the larvae of *R. phoenicis* (F.) in Africa (photo 4), *R. vulneratus* (Panzer) and *R. ferrugineus* (Olivier) in Asia, and *R. bilineatus* (Montrouzier) in Papua New Guinea cause harm, but *R. palmarum* (L.) is a more dangerous pest in South America as the adult is also a vector of the nematode *Rhadinaphelenchus cocophilus* (Goodey), which causes red ring disease. These species take two to three months to develop.

It was first observed some time ago that adult males and females are attracted by the odour of fermenting tissues, due either to wounds on healthy palms or to rotting of diseased palms. They come to feed and the females lay their eggs on the tissues. This particular behaviour has long been used as a control method to reduce adult populations, using traps baited with pieces of oil palm or coconut (Morin *et al.*, 1986).

The research undertaken confirmed both the attractive role of the volatile compounds produced by fermenting tissues, not only on palms but also on many other sacchariferous plants such as sugar cane, and the existence of an aggregation pheromone produced by the males when feeding on the host plant. This acts in synergy with the plant odours to attract large numbers of weevils of both sexes (Rochat *et al.*, 1991a, 1991b, 1993a).

Work was first carried out on *R. palmarum*, then on *R. phoenicis* and *R. vulneratus*. For *R. palmarum*, the existence of pheromonal attraction was demonstrated in a field experiment, in which a synergy effect was observed between the palm and the presence of males on attractiveness to their congeners, whereas females had no effect (Rochat *et al.*, 1991a) (figure 4). The effluvia produced by the males were collected in the laboratory on an adsorbent polymer, enabling isolation of specific compounds that were not found in either the females or the plant. These compounds were tested by EAG and olfactometry in the laboratory to check their activity, and then analysed by different techniques, which identified a major compound, (E)-2-methylhept-5-en-4-ol, known as Rhynchophorol, and a minor compound (Rochat *et al.*, 1991b). Numerous laboratory tests and field trials confirmed the activity of synthetic Rhynchophorol, whereas the minor compound was inactive (figure 5).

Racemic Rhynchophorol, combined with plant bait (sugar cane, coconut palm or oil palm), proved to be a powerful attractant that considerably increased the efficacy of the traps. This discovery was confirmed by Oehlschlager *et al.* (1992, 1993), who substantially developed the technique in Costa Rica by studying different trap types and layouts, and by mass captures. By eliminating thousands of *R. palmarum*, red ring incidence in a Costa Rican plantation was reduced by 30 to 80% depending on the plots (Chinchilla *et al.*, 1993). The synthetic pheromone, a racemic mixture, is now produced commercially and used in various Latin American countries. It is sold in small porous plastic sachets with a diffusion period of three months. The recommended traps are 15-l buckets with a lid from which the pheromone sachet is hung, containing pieces of sugar cane or palm treated with an insecticide. Holes are bored in the side of the bucket near the top of the container and in the lid. The plant bait has to be replaced once a fortnight.

With *R. phoenicis*, the only volatile compound produced by the male was identified as (*S, S*)-3-methyloctan-4-ol (Rochat *et al.*, 1993*b*, 1995). The synthetic product used with pieces of coconut palm in a trapping trial led to the capture of 25 times more insects than the plant material alone (figure 6). For *R. vulneratus* in Indonesia and *R. bilineatus* in Papua New Guinea, the male effluvia contained three compounds, of which the major one was (*S, S*)-4-methylnonan-5-ol (Rochat *et al.*, 1993*b*; Ollivier, 1995; Oehlschlager *et al.*, 1995).

R. ferrugineus is a major coconut pest in India and Sri Lanka. In the 1990s, this insect was brought accidentally into various Middle Eastern countries (United Arab Emirates, Oman, Egypt and Iran), where it has caused damage to the date palm. In 1995, it was discovered in southern Spain. In this species (specimens from Iran and Spain), the male pheromone secretion consists of compounds already found in *R. vulneratus* and *R. bilineatus* (Rochat, comm. pers.).

Similar or complementary work has been carried out on all of these *Rhynchophorus* species by a Canadian team at Simon Fraser University (Hallet *et al.*, 1993; Gries *et al.*, 1993; Perez *et al.*, 1995).

Work is continuing in French Guiana to study the attractiveness of different compounds already identified in sugar cane, oil palm and coconut (Rochat *et al.*, 1993*a*) that act in synergism with the pheromone. The aim is to produce a completely synthetic attractant. A definite step forward was made in 1996.

***Metamasius hemipterus* (L.)**

Like the *Rhynchophorus* already mentioned, this small Curculionidae from Latin America is strongly attracted by the tissues of sacchariferous plants, particularly sugar cane, on which it is reported to cause substantial damage in Colombia. It is very common in oil palm plantations. The adults are numerous and can be seen in the leaf scars that result from pruning and harvesting. They are also found on fermenting leaf segments left in the windrow. Until recently, *Metamasius* was not considered to have any economic impact, but it is now suspected of also being a vector of red ring (Calvache *et al.*, 1994) and growers are keen to control it. Studies have revealed five specific compounds produced by males, which make up the pheromone: (*S, S*)-4-methynonan-5-ol (major compound, already seen in *R. vulneratus*, *R. ferrugineus* and *R. bilineatus*), 2-methylheptan-4-ol, 2-methyloctan-4-ol, 5-nonanol and 3-hydroxy-4-methylnonan-5-one (Ramirez *et al.*, 1995*a*).

For mass trapping, it was demonstrated that a mixture of two synthetic racemic compounds is sufficient: the major compound, 4-methylnonan-5-ol and one of the minor compounds, 2-methylheptan-4-ol or 2-methyloctan-4-ol. However, it is

best to combine the mixture with the smell of fermented sugar cane (Ramirez *et al.*, 1995*b*), with which it synergizes very strongly.

Table 1 indicates the molecules making up the pheromones of the different *Rhynchophorus* already studied.

Dynastidae: *Oryctes rhinoceros* (L.)

Oryctes are very serious oil palm and coconut pests, particularly *O. rhinoceros* in Southeast Asia and the Pacific. The insect reproduces in rotting wood, but the adults feed on the palms, by mining galleries at the base of the young leaves, which affects palm development (photos 5 and 6). Control concentrates on eliminating adults to reduce damage and prevent their multiplication. For some time now, oil palm and particularly coconut growers have been keen to trap these insects. Ethyl chrysanthemumate (rhinolure) was discovered during experiments in the Pacific on *O. rhinoceros* (Maddison *et al.*, 1973), but it proved largely ineffective and was therefore abandoned in mass trapping. However, this compound was far more attractive to the African species *O. monoceros*, but not enough for it to be used as a means of systematic pest control (Julia and Mariau, 1976).

The search for a pheromone began by collecting male and female volatiles from insects sent from Indonesia and the Philippines. The male effluvia extracts that proved active in EAG contained a specific compound not found in the female extracts. It was identified as ethyl 4-methyloctanoate, which had already been identified as the *O. monoceros* pheromone (Gries *et al.*, 1994). Ethyl 4-methyloctanoate, which was synthesized in the laboratory and tested in field traps in North Sumatra, Indonesia, captured 6.8 insects per trap, per week, whereas ethyl chrysanthemumate only captured 0.3 and the control failed to capture any (figure 7). Ethyl 4-methyloctanoate attracts both males and females, and therefore satisfies the definition of an aggregation pheromone. However, it seems to have a sexual role, since it attracts more females (Morin *et al.*, 1996).

This work confirmed the results obtained by Hallet *et al.*, (1995) on the same species, *O. rhinoceros*. The detection of a pheromone in *O. rhinoceros* means that a powerful attractant is now available for mass trapping. The conditions for its use still have to be optimized: doses, addition (or not) of secondary or synergic products and the type, location and number of traps in the plots to be protected.

Scapanes australis (Boisduval) is a black Dynastidae measuring 5 to 6 cm. The adults cause serious damage to young coconut palms on the northern islands in Papua New Guinea. The excessive losses that occur at some sites have caused farmers to abandon coconut as a cocoa

shade crop. Adult behaviour observations suggest that the females, which are highly active at night, are attracted by the males (Morin, 1991; Ollivier, 1995). Work has been undertaken with the Cocoa and Coconut Research Institute to identify a probable pheromone that could be used to develop a trapping method to complete the control measures currently taken.

Prospects and conclusion

This range of work on chemical communication between palm pests has obviously not systematically resulted in large-scale agricultural applications. Numerous trials will still have to be carried out to optimize the use of chemical attractants and define application strategies.

The results are expected to be environment-friendly, ensuring more rational use of insecticides, reducing the risks of pollution and of insects developing resistance, and protecting the useful fauna.

Leaf-eating lepidopterans on palms are a very damaging type of pest, and to prevent severe defoliation, close monitoring of population levels is essential to ensure that insecticide treatments are appropriate. Given the size of the plantations (2,000 to 10,000 ha), the monitoring systems implemented are substantial.

Insofar as only one major species is involved, trapping with synthetic sexual pheromones will make crop monitoring much easier by providing information on adult population levels. By comparing these data with the larva populations on leaves and the extent of the damage caused, it will be possible to establish correlations between captures and subsequent damage levels; they will therefore be a valuable tool when deciding on insecticide treatments.

The mass trapping strategy is being developed with the Coleoptera already studied. Both *Rhynchophorus* and *Oryctes* have certain characteristics that should ensure the success of the technique:

- the damage is caused by *Oryctes* adults or, in the case of *Rhynchophorus*, by the larvae following egg-laying or by the nematodes carried by the adults. Eliminating adults directly reduces the extent of plant damage;
- population densities per hectare are usually low. Capturing just a few to a few dozen insects can be enough to drop below the damage threshold;
- growers have often eliminated adults either by hand or by trapping using a piece of plant material or attractants with limited effect. They are therefore keen to try out any new development that will enable mass captures.

For *Oryctes*, trapping will only be needed for a short time, during outbreaks causing damage in young plantings, particularly in replantings. This two to four year period corresponds to the time

taken for the complete destruction of the potential larva development sites afforded by old wood.

Trapping could also be put to good use in certain places where larva sites can only be partially eliminated and where it is difficult to keep fine-looking coconut palms because of repeated attacks (e.g. tourist areas, gardens).

For *Rhynchophorus*, the use of aggregation pheromones has considerably increased the efficacy of traditional trapping using just pieces of palm or sugar cane. The next stage, on which

substantial progress has already been made, is to find synthetic substances that reproduce the natural compounds produced by plant tissues. These substances, combined with the phero-

mone, will provide an entirely synthetic attractant to trap *Rhynchophorus* without using plant material, which will be a real step forward. ■

This account of the work carried out by INRA and CIRAD shows the headway that has already been made in the field of chemical communication between palm insects. The methodology has now been mastered by an experienced, multidisciplinary team, using high-performance tools and techniques. All we can now hope is that funding will be provided for increased cooperation with researchers from oil palm and coconut growing countries, to ensure further progress and the practical application of the results obtained.

Résumé

Cette note présente les travaux menés conjointement par le Cirad-CP et l'Inra sur les substances chimiques, en particulier les phéromones, qui interviennent dans le comportement de certains ravageurs des palmiers soit en vue d'améliorer les méthodes d'observation et de prévision des pullulations, soit en vue de développer de nouvelles méthodes de lutte.

Les composés des sécrétions phéromonales de quelques lépidoptères défoliateurs ont été identifiés et déterminés. Des formulations testées au champ se sont montrées efficaces et diverses expérimentations sont en cours pour préciser leurs conditions d'utilisation en piégeage.

Les travaux concernant les Curculionidae du genre *Rhynchophorus* et *Metamasius* ont conduit à l'identification de phéromones d'agrégation qui ont pu être synthétisées et sont actuellement utilisées en association avec du végétal pour le piégeage des adultes en vue de réduire les dégâts causés par ces ravageurs. Les recherches se poursuivent pour la mise au point d'un attractif entièrement synthétique permettant de piéger les *Rhynchophores* en l'absence totale de végétal.

Enfin récemment, des études ont été entreprises sur *Oryctes rhinoceros* et ont conduit à identifier un composé actif qui est le constituant principal de la phéromone d'agrégation et qui offre des perspectives nouvelles de contrôle de ce ravageur.

Ces différents travaux montrent le chemin déjà parcouru dans le domaine de la communication chimique des insectes des palmiers. Ils devraient contribuer à une meilleure gestion du contrôle intégré de ces ravageurs dans les cultures de palmiers à huile et de cocotiers.

Abstract

This note describes work being carried out jointly by Cirad-CP and Inra on the chemical substances, particularly pheromones, involved in the behaviour of certain palm pests, with a view either to improving observation and outbreak forecasting methods or to developing new control techniques.

The compounds in the pheromonal secretions of some leaf-eating Lepidoptera have been identified and determined. Formulations tested in the field have proved effective and various experiments are under way to determine how they should be used for trapping.

Work on Curculionidae of the *Rhynchophorus* and *Metamasius* genera has resulted in the identification of aggregation pheromones, which have been synthesized and are currently being used in combination with the plant to trap adults and reduce the damage caused by these pests. Research is continuing with a view to developing an entirely synthetic attractant capable of trapping *Rhynchophorus* without the plant.

Lastly, studies were recently undertaken on *Oryctes rhinoceros*, leading to the identification of an active compound which is the main component of the aggregation pheromone and opens up new prospects for controlling the pest.

These various operations demonstrate the progress already made in chemical communication of insects affecting palms. They should contribute to more effective management of the integrated control of these pests in oil palm and coconut plantations.

Resumen

Esta nota presenta los trabajos llevados a cabo conjuntamente por el Cirad-CP y el Inra sobre las sustancias químicas, especialmente las feromonas, que intervienen en el comportamiento de ciertas plagas de las palmeras ya sea con miras a mejorar los métodos de observación y de previsión de las pululaciones, ya sea con miras a desarrollar nuevos métodos de control.

Se identificaron y determinaron los compuestos de las secreciones de feromonas de algunos lepidópteros defoliadores. Las formulaciones sometidas a prueba en campo se revelaron eficaces y diversas experimentaciones están pendientes para precisar sus condiciones de utilización en trapeo.

Los trabajos que conciernen los Curculionidae del género *Rhynchophorus* y *Metamasius* llevaron a identificar feromonas de agregación que pudieron sintetizarse y son actualmente utilizadas en asociación con vegetal para el trapeo de los adultos con miras a reducir los daños provocados por estas plagas. Las investigaciones se prosiguen para la puesta a punto de un atractivo enteramente sintético que permite trapear los Rincóforos en ausencia total de vegetal.

Por último, recientemente se emprendieron estudios sobre *Oryctes rhinoceros* que llevaron a identificar un compuesto activo que es el constituyente principal de la feromona de agregación y que ofrece nuevas perspectivas de control de esta plaga.

Estos diferentes trabajos muestran el camino recorrido ya en el ámbito de la comunicación química de los insectos de las palmeras. Deberían contribuir a un mejor manejo del control integrado de estas plagas en los cultivos de palma aceitera y de cocotero.